

## ОСОБЕННОСТИ АКЦЕССОРНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ТУРГИНСКОГО МАССИВА АМАЗОНИТСОДЕРЖАЩИХ Li-F ГРАНИТОВ В ВОСТОЧНОМ ЗАБАЙКАЛЬЕ И ЕЁ ПЕТРОГЕНЕТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ

Иванова А.А., Сырицо Л.Ф.

Санкт-Петербургский Государственный Университет, г. Санкт-Петербург, st022316@student.spbu.ru

В Восточном Забайкалье с массивами амазонит-содержащих редкометальных Li-F гранитов (РГ) ассоциирует Та-оруденение (Орловский, Этыкинский, Ачиканский массивы). На их фоне выделяется Тургинский массив, где не происходит концентрирование традиционных для таких систем рудных элементов – Li и Та. Сопоставление петрохимии, геохимии выявило ряд особенностей состава исходного расплава и путей эволюции Тургинского массива [Иванова, Сырицо, 2018]. Тургинский интрузив является полиформационным и состоит из двух разновозрастных комплексов пород: шахтаминского монцодиорит-гранодиоритового и кукульбейского гранит-лейкогранитового, с которым традиционно и связывается редкометальное оруденение. В рамках последнего выделяется ряд дифференциатов, состоящий из трех фаз, представленных соответственно биотитовыми, протолитионитовыми и амазонитовыми гранитами. Наиболее характерной особенностью формирования изучаемого массива является существенный подъем температуры кристаллизации главной фазы относительно ранней и инверсия геохимической специализации пород с ведущей ролью легких РЗЭ, Zr, Th, U. Главным отличием от рудоносных массивов Восточного Забайкалья являются отсутствие топаза, типичной для массивов РГ структуры «снежного кома» («snow-ball кварц»), ограниченный ряд дифференциации слюд от биотита до протолитионита-циннвальдита.

Объектом настоящего исследования явилось изучение акцессорных минералов в ряду дифференциатов. На данном этапе исследования эти минералы изучены в шлифах и шайбах с мономинеральными фракциями при помощи сканирующей электронной микроскопии с оценкой состава и примерной стехиометрии.

В биотитовых гранитах ранней фазы присутствуют циркон, гранат, апатит, флюорит, оксиды железа, монацит, ксенотим, ильменорутил. В протолитионитовых гранитах происходит резкое обогащение акцессорной минерализации, здесь появляются новые минералы: Fe-колумбит, гематит, алланит, торит, уранинит, другие ближе не определенные минералы U, Th и Nb, флюоцерит, бастнезит, паризит, галенит.

Типоморфной становится редкоземельная и Th-U минерализация. Это сказывается и на сквозных минералах, таких как циркон, в составе которого установлен скачкообразный подъем содержаний  $\text{ThO}_2$  и  $\text{UO}_2$  в среднем до 3 и 7 масс. % соответственно, в отдельных случаях до 15 масс. % этих оксидов, и образование самостоятельных U-Th фаз в виде микровключений [Иванова и др., 2018]. Преимущественное развитие получает циртолит. В амазонитовых гранитах к этим минералам добавляются касситерит, сфалерит, стибнит, ближе не определенный силикат Y (предположительно иттриалит).

Таким образом, в протолитионитовых и амазонитовых гранитах Тургинского массива впервые для редкометальных Li-F гранитов Восточного Забайкалья обнаружены редкие фториды, фторкарбонаты и силикаты легких РЗЭ и Y: флюоцерит  $(\text{La,Ce})\text{F}_3$ , алланит  $(\text{TR,Ca})_2(\text{Al,Fe})_3[\text{Si}_2\text{O}_7][\text{SiO}_4]\text{O}[\text{O,OH}]$  и предположительно иттриалит  $\text{Y}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ , бастнезит  $(\text{Ce,L a,Y})\text{CO}_3\text{F}$  и паризит  $\text{Ca}(\text{Ce,L a})_2(\text{CO}_3)_3\text{F}_2$ .

В рудоносных массивах значительная часть тантала заключена в минералах группы колумбита-танталита, в меньшей мере пироклора-микролита и в касситерите. В Тургинском массиве минералы группы колумбита-танталита представлены исключительно ферроколумбитом  $\text{Fe}^{2+}\text{Nb}_2\text{O}_6$  с низкими содержаниями Mn и Та. Часто встречается в сростках с касситеритом (в амазонитовых гранитах), иногда встречается в ассоциации с цирконом, монацитом, торитом, ильменитом, может развиваться по трещинкам в слюде. В ряде случаев установлено обрастание колумбита урансодержащей фазой (до 20 масс. %  $\text{UO}_2$ ), а также сростание с волокнистым U-минералом с эмпирической формулой  $(\text{U}_{0.92}\text{Ca}_{0.19}\text{Pb}_{0.04}\text{Th}_{0.02})_{\Sigma=1.17}(\text{Nb}_{0.93}\text{Al}_{0.35}\text{Si}_{0.29}\text{Fe}_{0.14})_{\Sigma=1.71}\text{O}_6$ . Внутри кристаллов колумбита зональность не выявлена. Из примесей преобладают титан до 2.9 масс. %  $\text{TiO}_2$  (среднее 1.2) и вольфрам до 5.4 масс. %  $\text{WO}_3$  (среднее 2.2), иногда присутствуют олово до 0.8 масс. %  $\text{SnO}_2$  (преимущественно в протолитионитовых гранитах) и скандий до 0.2 масс. %  $\text{Sc}_2\text{O}_3$ . Колумбит из протолитионитовых гранитов демонстрирует некоторую вариацию по  $\text{Mn}/(\text{Mn}+\text{Fe})=0.22\pm0.09$  при  $\text{Ta}/(\text{Ta}+\text{Nb})=0.04\pm0.02$ , а колумбит из амазонитовых гранитов – по  $\text{Ta}/(\text{Ta}+\text{Nb})=0.09\pm0.06$  при выдержанной

марганцовистости  $0.27 \pm 0.02$ . В отличие от Тургинского массива для минералов группы колумбита-танталита в пределах известных рудоносных массивов региона характерно дискретное возрастание марганцовистости и танталистости вплоть до образования танталита-(Mn) в поздних дифференциатах [Melcher et al., 2016; Вэнь, Баданина, 2010]. По составу колумбиты Тургинского массива сходны с колумбитами из Зашихинского массива щелочных РГ, имеющими средние значения характеристических отношений  $Mn/(Mn+Fe)=0.29$  и  $Ta/(Ta+Nb)=0.14$  [Владыкин и др., 2016]. Таким образом, состав колумбитов можно считать ещё одной предпосылкой для отнесения РГ Тургинского массива к иному геохимическому типу, отличному от классических для Восточного Забайкалья плюмазитовых Li-F гранитов, завершающихся образованием амазонитовых гранитов с танталитом и микролитом.

Наиболее яркой особенностью акцессорной минерализации изучаемого массива является обилие фторидов и фторкарбонатов легких РЗЭ. Сквозным минералом класса фторидов является флюорит. В ряду дифференциатов изменяется его состав: в гранитах главной и заключительной фаз в нем появляются примеси Y и РЗЭ вплоть до образования иттрофлюорита с содержанием  $Y_2O_3$  до 5 масс. %. В ряде случаев установлено развитие РЗЭ-минерализации по флюориту.

Флюоцерит, как правило, приурочен к слюде или флюориту. Встречается как в виде образований неясной формы (до 250 мкм), так и хорошо ограненных идиоморфных кристаллов размером 100-120 мкм короткопризматически-таблитчатой гексагональной формы, а также в сростках со слюдой. Состав в целом выдержанный (37.5 масс. %  $Ce_2O_3$ , 17.4 масс. %  $La_2O_3$ , 12.5 масс. %  $Nd_2O_3$ ), во флюоцерите из амазонитовых гранитов установлено небольшое увеличение роли Th, Ca, Si в числе примесей, что соответствует эмпирической формуле  $(Ce_{0.58}La_{0.29}Nd_{0.12}Pr_{0.04}Si_{0.04}Ca_{0.03}Th_{0.03})_{1.12}F_3$ . Часто фиксируется наличие кислорода вплоть до 8 масс. %, что согласуется с литературными данными [Фельдман и др., 1973]. Во многих случаях флюоцерит окружен бастнезитом, что можно интерпретировать как процесс замещения и образования псевдоморфоз бастнезита по флюоцериту. Согласно исследователям амазонитовых гранитов Северного Тянь-Шаня [Фельдман и др., 1973], наличие в гранитоидах флюоцерита свидетельствует о повышенной щелочности в пределах плюмазитового петрохимического типа. Авторы называют флюоцерит «типоморфным минералом одного из подтипов редкометальных гранитов, а

именно плюмазитовых амазонитсодержащих колумбитоносных гранитов».

Фторкарбонаты бастнезит и паризит относятся к наиболее поздней парагенетической ассоциации, развиваются преимущественно по флюоцериту и алланиту. Согласно результатам микрозондового анализа преимущественно распространен бастнезит-(Ce) с содержанием (в масс. %): F – 6.7,  $Ce_2O_3$  – 35.2,  $Nd_2O_3$  – 11.2,  $Pr_2O_3$  – 2.6,  $Sm_2O_3$  – 2.2, Ca – 1.5,  $Y_2O_3$  – 0.8, Th – 2.3. Можно предположить следующую последовательность формирования минералов: флюорит → флюоцерит → бастнезит; а также алланит → бастнезит. При этом замещение флюоцерита идет преимущественно с внешнего края, а алланит разъедается изнутри по многочисленным трещинам.

Из сквозных фосфатов распространен преимущественно монацит, ксенотим встречается реже. Вероятно, это связано с общим преобладанием легких РЗЭ в составе расплава. Монациты из биотитовых гранитов имеют максимальную концентрацию Th и U, монациты из амазонитовых гранитов имеют максимум содержаний РЗЭ и Y. Для монацитов из рудоносных массивов наблюдается обратная тенденция [Борисова и др., 2018]. В биотитовых гранитах ранней фазы довольно широко представлен фторапатит.

В протолитонитовых гранитах (а изредка и в амазонитовых гранитах) отмечены многочисленные находки торита в гематитовой (установлено по данным СЭМ и рамановской спектроскопии) оторочке толщиной в среднем 30 мкм, что отражает повышение железистости на этапе формирования пород главной фазы, которое фиксируется в общем составе пород и замещении биотита Li-сидерофиллитом.

Минералого-геохимические исследования дают основание полагать, что специфический набор минералов может наравне с геохимическими особенностями пород являться предпосылкой для отнесения гранитов Тургинского массива к особому подтипу – плюмазитовым амазонитсодержащим колумбитоносным гранитам повышенной щелочности с обильной Zr-REE-Th-U-Nb минерализацией. Установленный набор минералов можно считать типоморфным для принципиально нового для Забайкалья подтипа плюмазитовых редкометальных гранитов.

Микрозондовые и рамановские исследования выполнены в Ресурсном Центре СПбГУ «Геомодель» при помощи сканирующего электронного микроскопа Hitachi S-3400N и рамановского спектрометра Horiba Jobin-Yvon LabRam HR 800.

*Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ 18-05-00957.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Борисова Е.Б., Иванова А.А., Баданина Е.В. Акцессорные минералы Тургинского массива амазонитовых гранитов в Восточном Забайкалье // Новое в познании процессов рудообразования: Восьмая Российская молодёжная научно-практическая Школа, Москва, 26-30 ноября 2018 г. Сборник материалов - Электрон. дан. (1 файл: 45 Мб) - М.: ИГЕМ РАН, 2018.
2. Владыкин Н.В., Алымова Н.В., Перфильев В.В. Геохимические особенности редкометальных гранитов Зашихинского массива, Восточный Саян. // Петрология, 2016, том 24, № 5, с. 554–568.
3. Вэнь Ц., Баданина Е.В. Сравнительный анализ колумбитов-танталитов из месторождений гранитов восточного Забайкалья и юго-восточного Китая // Материалы молодежной научной конференций, посвященной памяти К.О. Кратца. г. Санкт-Петербург. 18-25 октября 2010 г. 2010. Т. 1. С. 169–172.
6. Иванова А.А., Сырицо Л.Ф. Геохимические предпосылки безрудности Тургинского массива амазонитовых гранитов в Восточном Забайкалье. // Вопросы естествознания, № 3 (17), 2018. Иркутск.
5. Иванова А.А., Сырицо Л.Ф., Баданина Е.В., Сагитова А.М. Циркон полиформационного Тургинского массива с амазонитовыми гранитами (Восточное Забайкалье) и его петрогенетическое значение. ЗРМО. 2018. № 6. С. 1-21.
6. Фельдман Л.Г., Сурков Б.К., Столярова Т.И. Флюоцерит из редкометальных гранитов Северного Тянь-Шаня и некоторые данные к генетической минералогии фторидов редкоземельных элементов // Труды минералогического музея. Выпуск 22. Новые данные о минералах СССР. Наука, Москва, 1973 г., 216 стр.
7. Melcher F., Graupner T., Gäbler H.-E., Sitnikova M., Oberthür T., Gerdes A., Badanina E., Chudy T. Mineralogical and chemical evolution of tantalum–(niobium–tin) mineralisation in pegmatites and granites. Part 2: Worldwide examples (excluding Africa) and an overview of global metallogenetic patterns // Ore Geology Reviews. Volume 89, October 2017, P. 946-987.